

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ ГЕТЬМАНА
ПЕТРА КОНАШЕВИЧА - САГАЙДАЧНОГО

ФАКУЛЬТЕТ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА ВОДНОМУ
ТРАНСПОРТІ

КАФЕДРА СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК, ДОПОМІЖНИХ
МЕХАНІЗМІВ СУДЕН ТА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ



КОНСПЕКТ
з дисципліни

«Сучасні технології експлуатації та діагностування енергетичних та
пропульсивних комплексів суден»

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Галузь знань: 27 Транспорт

Спеціальність: 271 «Річковий та морський транспорт»

КИЇВ - 2020р.

ВСТУП

Викладач: Шапран Юлія Євгенівна
olilia2007@ukr.net

ЗМІСТ

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	2
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ	4
ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАЛІКУ	69
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	72

1. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Тема 1. Елементи суднових енергетичних установок як об'єкт управління при сучасних технологіях експлуатації та діагностуванні

Призначення і характеристики систем управління при експлуатації елементами СЕУ. Сучасні системи управління ДВЗ.

Тема 2. Параметри технічного стану об'єктів СЕУ при експлуатації.

Контролюємі параметри об'єктів СЕУ.

Тема 3. Технічна експлуатація, контроль, аварійність ДВЗ.

Технічна експлуатація суднових двигунів внутрішнього згорання. Аварії двигунів та міри для їх попередження. Контроль технічного стану двигунів.

Тема 4. Системи моніторингу суднових дизелів в експлуатації. Системи моніторингу суднових дизелів в експлуатації. Системи діагностування.

Тема 5. Суднові комбіновані пропульсивні комплекси.

Класифікація комбінованих пропульсивних комплексів. Модель пропульсивного комплексу вантажного судна для розрахунку витрат палива.

.

2. КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

ЗМІСТ

Тема 1. Елементи суднових енергетичних установок як об'єкт управління при сучасних технологіях експлуатації та діагностуванні.	3
Тема 2. Параметри технічного стану об'єктів СЕУ при експлуатації.	12
Тема 3. Технічна експлуатація, контроль, аварійність ДВЗ.	17
Тема 4. Системи моніторингу суднових дизелів в експлуатації..	26
Тема 5. Суднові комбіновані пропульсивні комплекси	32

Тема 1. Елементи суднових енергетичних установок як об'єкт управління при експлуатації та діагностуванні

Призначення і характеристики систем управління при експлуатації елементами СЕУ. Сучасні системи управління ДВЗ

1.1 Призначення і характеристики систем управління при експлуатації елементами СЕУ.

З розвитком науково-технічного прогресу виконання багатьох технологічних операцій на суднах автоматизується. Весь комплекс завдань управління технологічними комплексами і технічними процесами, такими як стабілізація частоти обертання колінчастого вала суднового дизеля, підтримання напруги і частоти генератора на заданому рівні, стабілізація рівня і температури води в котлах, стабілізація судна на заданому курсі вирішується на базі обчислювальної техніки.

Для кожного елемента СЕУ передбачається система управління, що забезпечує виконання мети управління - відповідності регульованої величини заданому значенню.

За метою регулювання та характером впливу на судна застосовуються системи *стабілізації, стеження і системи програмного регулювання*.

У *системах стабілізації* регульована величина повинна бути постійною і її значення повинно бути рівним заданому. Такі системи автоматичного регулювання, як правило, використовуються в регуляторах частоти обертання колінчастого вала дизелів, термостатах, регуляторах напруги генераторів, регуляторах рівня води в котлі, в системах автоматизації загальносуднових систем з гідравлічними і пневматичними ємностями.

У *системах стеження* регульована величина повинна копіювати деяку вхідну величину, функція зміни якої заздалегідь невідома. Найбільш часто системою стеження обладнають рульовий привід, дистанційне автоматизоване управління (ДАУ) головними двигунами, системи автосупроводження рухомого об'єкту антеною радіолокатора і т. п.

В *системах програмного регулювання* функція зміни регульованої величини

відома заздалегідь, до початку процесу регулювання. Найбільш часто програмне регулювання використовують в системах автоматики допоміжних котлів, ДАУ і т. п. Відзначимо, що програмне регулювання, стабілізація і стеження можуть розглядатися як режими роботи однієї і тієї ж системи.

Теорія автоматичного управління розділяє системи управління на три групи за принципом регулювання:

- по відхиленню (принцип зворотного зв'язку);
- по заданому впливу (принцип розімкнутого регулювання);
- по принципу компенсації.

Найбільшого поширення на судах отримали системи з принципом регулювання по відхиленню, оскільки негативний зворотний зв'язок призводить до зменшення помилки регулювання незалежно від чинників, що її викликали (змін параметрів регульованого об'єкта або зовнішніх умов).

Системи автоматизованого управління СЕУ формуються за принципом триступеневої ієрархічної структури: перший вищий рівень - пост дистанційного автоматизованого управління (ДАУ) в рульовій рубці, другий рівень - центральний пост управління (ЦПУ) і третій рівень - пости керування окремими двигунами і іншими технічними засобами.

Автоматизацію кожного процесу (об'єкта) можна розглядати або самостійно, або як підсистему в системі автоматизації установки в цілому, яка, в свою чергу, є підсистемою в системі автоматизації судна. Автоматизацію всього комплексу операцій з управління технологічним (виробничим) процесом, його контроль і захист найчастіше називають комплексною автоматизацією.

Комплексна автоматизація судна дозволяє підвищити технічну безпеку плавання і скоротити чисельність екіпажу. Вона сприяє також збільшенню ресурсу суднових технічних засобів; економії палива завдяки вибору раціональних режимів роботи; скорочення шляху в результаті точності витримування курсу при плаванні; підвищення надійності механізмів і т. д. У завдання комплексної автоматизації входить раціональний розподіл функцій управління і контролю між людиною-оператором і засобами автоматики.

Складовою частиною системи управління є *система централізованого контролю (СЦК)*. Вона забезпечує індикацію та реєстрацію основних параметрів СЕУ, а також сигналізацію при відхиленні їх від допустимих значень.

До складу СЦК входять датчики контрольованих величин, комп'ютер централізованого контролю, що аналізує інформацію від датчиків, і засоби представлення інформації, що поєднують пристрої світозвукової сигналізації і мнемосхеми.

Автоматизація СЕУ і судна значно полегшує управління судном, але разом з тим ставить новий ряд завдань, яке необхідно вирішити при створенні автоматизованих суден. СЕУ потрібно комплектувати технічними засобами і обладнанням, пристосованими до безвахтенного обслуговування, а також оснащувати їх системами моніторингу, водночас можуть бути засобами технічної діагностики об'єктів СЕУ.

Найбільш складними з точки зору управління елементами СЕУ є ДВЗ, які є нелінійними з позицій регулювання об'єктами, тому що для них реакція на суму будь-яких зовнішніх впливів не дорівнює сумі реакцій на кожне з впливів окремо. З огляду на те, що двигун на судні працює з частою зміною навантаження,

виникає проблема раціонального управління ним. Забезпечення раціонального управління двигуном зі змінним режимом навантаження стало можливим з розвитком електронних систем управління.

1.2 Сучасні системи управління ДВЗ

Відмінною рисою сучасних ДВЗ є використання мікропроцесорного (комп'ютерного) управління, що дозволяє поліпшити весь комплекс конструктивних, технологічних, екологічних і експлуатаційних характеристик двигунів завдяки широким можливостям регулювання робочого процесу в кожному циклі кожного циліндра. Удосконалення робочого процесу досягається автоматичним вибором і встановленням сукупності значень параметрів робочого процесу в циліндрах двигуна і алгоритмів керування, що забезпечують найкращий результат по витраті палива і якості перехідних процесів з урахуванням обмежень по екологічним і технічним параметрам.

Двигуни, що характеризуються великою кількістю керованих параметрів і дозволяють здійснити настройку на кожен експлуатаційний режим, отримали назву двигунів із змінним робочим процесом, або адаптивних двигунів [96-98].

Необхідність створення таких двигунів обумовлена, перш за все, багаторежимністю їх функціонування в умовах експлуатації.

Дослідження і розробки зі створення адаптивних двигунів здійснюються в даний час в двох напрямках [96]:

- *перший напрям* базується на подальшому розширенні можливостей ДВЗ традиційних конструктивних схем шляхом збільшення числа керованих елементів. Конструктивні рішення, спрямовані на поліпшення будь-якого параметра, називають «елементами адаптації»;

- *другий напрям* пов'язано з розробкою двигунів, у яких в залежності від умов рядової експлуатації відбувається зміна самої конструктивної схеми. Цей напрям вимагає глобального перегляду існуючих технологій проектування двигунів.

На сучасному етапі технічного прогресу значного розвитку отримало перший напрям. По-перше, використовуються традиційні технології проектування двигунів. По-друге, світове двигунобудування не готове до переходу на конвертування найконструктивнішою схеми двигуна в процесі експлуатації.

Головна відмінна риса двигунів із змінним робочим процесом будь-якої конструктивної схеми полягає в тому, що зазначені властивості адаптивності досягаються збільшенням числа керованих елементів в порівнянні з існуючими двигунами, що зумовлює застосування для них систем автоматичного управління нового типу.

Огляд керованих елементів по першому напрямку, реалізованих в транспортних ДВЗ, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Керовані елементи

Управляємий елемент	Назва системи	Фірма розробник	Коротке описання системи
Система зміни фаз газорозподілу (Variable Valve Timing, VVT)	EVA	Aura Systems	Регульовані параметри роботи газорозподільного механізму: - момент відкриття (закриття) клапанів; - тривалість відкриття клапанів; - висота підйому клапанів. Використовується два типи регулювання фаз газорозподілу: 1. за рахунок повороту розподільного валу по ходу обертання, чим забезпечується раннє відкриття клапанів в порівнянні з вихідним положенням; 1. 2. з використанням кулачків різної форми, чим досягається ступеневу зміна тривалості відкриття і висоти підйому клапанів
	VVN	Meta Systems	
	VDO	Systems	
	Valvetronic и bi-VANOS	BMW	
	i-VTEC, VTC	Honda	
	VarioCAMPlus	Porsche	
	VVT – Variable Valve Timing	Mahl, Volkswagen	
	MIVEC, Mitsubishi Innovative Valve timing Electronic Control	Mitsubishi	
Valvelift System	Audi		
Система нейтралізації відпрацьованих (випускних) газів дизелів	–	Bosch	Електронний блок управляє фільтром твердих частинок і накопичувальним нейтралізатором оксидів азоту NOx, досягаючи на кожному режимі роботи двигуна найкращої нейтралізації випускних (відпрацьованих) газів. Блок також управляє рециркуляцією газів, установищем дросельної заслінки і тиском наддуву
Електрогідравлічна система приводу клапанів	Valvetrain EHVS	AVL и Bosch	Забезпечує будь-яку характеристику подачі повітря в циліндри двигуна, незалежно регулює фази газорозподілу (відкриття і закриття), висоту підйому кожного окремо клапана, швидкість, прискорення і переміщення клапана
		Yacobs Vehicle Systems	
Система відключення роботи частини циліндрів	–	Delphi – Automotive Systems, Chrysler, Honda	Здійснює управління переходом на необхідну кількість працюючих циліндрів.

Турбокомпресори із змінним вхідним перерізом турбіни	VNT	Garrett	Забезпечує зміну вхідного перетину турбіни
Акумуляторна топливна система	Common Rail Common Rail	Denso Bosch Delphi	<p>Застосовуються керовані електронікою електрогідралічні форсунки з електромагнітним або п'єзоелектричним приводом керуючих клапанів, впорскують дизельне паливо під високим тиском в циліндри.</p> <p>Друге покоління системи Common Rail фірми Bosch забезпечує до п'яти упорскувань палива за один цикл. Для підвищення точності процесу впорскування і підвищення довговічності елементів системи на весь ресурс двигуна було розроблено програмне забезпечення, що дозволяє управляти кількістю палива, що впорскується IQA (Injector Quantity Adjustment), Регулювати електрична напруга в форсунки IVA (Injector Voltage Adjustment) і здійснювати корекцію коливань тиску PWC (Pressure Wave Correction). Система передбачає також управління кількістю поданих доз палива при предвприсківанні. Крім того, система регулює співвідношення загальної кількості повітря, що подається до вводиться паливу. Відзначимо, що ДВС з системою Common Rail обладнані датчиками тиску газів в циліндрах і тиску уприскування палива. У провідних фірмах світу, таких як Bosch, Siemens, Delphi, Denso і ін., Завершені розробки нових паливних систем Common Rail з п'єзофорсунками. П'єзофорсунками практично не має «мертвого» часу, перемикання відбувається дуже швидко і точно. У блоці управління запрограмовані характеристики двигуна і процесу впорскування, в нього надходять дані про становище колінчастого вала і розподільних валів. Останнім часом ведуться інтенсивні розробки по так званим змінним розпилювачів форсунок з рядами малих і великих розпилюють отворів</p>

Топливна система з гідравлічною насос-форсункою з електронним управлінням	HEUI (Hydraulic Electronic Unit Injection)	Caterpillar совместно с Navistar	У паливних системах з насос-форсунками і індивідуальними паливними насосами використовується принцип дозування палива за допомогою вбудованих електромагнітних клапанів управління подачею. Момент подачі пускового сигналу на електромагнітний клапан, тобто момент його закриття, означає початок подачі палива. Тривалість періоду подачі пускового сигналу
			визначає величину циклової подачі. Момент і тривалість пускового сигналу визначаються електронним блоком управління відповідно до програмованими матрицями характеристик, які враховують режим роботи двигуна і умови навколишнього середовища.
Система зміни ступеня стиснення в двигунах		FEV Motorentechnik	Принцип роботи полягає в наступному - ексцентрично розташована вісь колінчастого вала, що дозволяє при повороті переміщувати вісь і тим самим змінювати ступінь стиснення. Це дозволяє зменшувати ступінь стиснення на великих навантаженнях для отримання нетоніруючого процесу згоряння палива на повному навантаженні і зберігати високу компресію на часткових режимах
Механізм зміни ступеня стиснення	GoEngine	Gomecsys	У запропонованій конструкції кожна кривошипна головка шатуна з'єднана з колінчастим валом через вузол, який знаходиться в зчепленні з епіциклічною системою, що дозволяє їй обертатися навколо колінчастого вала. Управління здійснюється електронною системою.

Прикладів адаптивності ДВЗ можна привести досить багато, але найважливішим чинником, що визначає якість мікропроцесорного управління двигуном, є алгоритм управління. Застосування «інтелектуальних» алгоритмів управління дозволяє досягти гранично можливих найкращих показників якості робочого процесу. Це відноситься, перш за все, до точності підтримки частоти обертання колінчастого вала двигуна при його роботі в сталих режимах навантаження, обмеження максимального відхилення параметрів і тривалості перехідних процесів пуску, розгону, навантаження і відстеження зміни навантаження.

В комплекс алгоритмів управління в загальному випадку входять алгоритми адаптивного управління випередженням подачі палива, тиском, числом стадій уприскування, формою характеристики впорскування палива, обмеженням подачі палива, винятком подачі палива за умов, що не забезпечують його займання і ефективно згорання, фазами газорозподілу, тиском наддуву і ін. Важливо, що для реалізації алгоритмів керування здійснюється збір і обробка інформації, отриманої від датчиків регульованих параметрів, яка дозволяє також реалізовувати алгоритми безрозбірної автоматичної технічної діагностики.

На всіх двигунах з електронними системами управління досягнуто суттєве зниження експлуатаційної витрати палива і шкідливих викидів. Поліпшено пускові і гальмові характеристики, підвищена надійність вузлів і деталей двигуна.

Як уже зазначалося, описані вище «елементи адаптації» двигунів реалізовані в основному в автомобілебудуванні. Однак накопичений в автомобілебудуванні досвід дозволяє в найближчому майбутньому перенести частину рішень по елементам адаптації на суднові дизелі.

В кінці ХХ століття світове суднове дизелебудування слідом за автомобілебудуванням приступило до спроб створення адаптивних судових дизельних установок (СДУ).

Розглянемо деякі технічні рішення, які застосовуються відомими світовими фірмами в області судових середньо- і високооборотних двигунів (СОД і ВОД). Представляють також інтерес технічні рішення, запропоновані на початку розробки електронних систем управління судовими двигунами, які знайшли застосування в основному в малооборотних двигунах (МОД).

Перші розробки і застосування технічних рішень з електронним управлінням були представлені в 2001 році фірмою MAN B & W в МОД серії ME. Розробка базувалася на двигуні серій MC або MC-C, т. Е. Основні конструктивні елементи двигуна (деталі остова, колінчастий вал, циліндрові втулки, кришки циліндрів і т. д.) не відрізнялися від елементів двигунів MC (MC-C), відмінності були тільки в конструкції і принципах управління паливною апаратурою і системою газорозподілу. Однією з основних переваг двигунів серії ME (буква «E» означає електронне управління) є більш низька витрата палива на експлуатаційних режимах роботи в діапазоні потужності від 50 до 85% від номінальної потужності. Мінімальна витрата палива - 155 г / (кВт год) - досягається тим, що число стадій і інтенсивність впорскування палива, а також фази відкриття і закриття випускних клапанів вибираються найбільш відповідними якісному робочому процесу на всіх постійних і перехідних режимах роботи. Система управління передбачає також моніторинг процесів в циліндрах двигуна і автоматичну підтримку однакової напруги по всіх циліндрах.

В конструкції двигуна в зв'язку з відсутністю розподільного вала для забезпечення впорскування палива і підйому випускних клапанів використовується гідравлічний контур масла, що знаходиться під тиском 20 МПа. Контур містить відфільтроване масло з циркуляційної системи двигуна. Також застосована система мащення типу Alpha, яка відіграє велику роль в реалізації завдань екологічної безпеки.

Двигуни серії ME можуть налаштовуватися на різні «низько емісійні режими» шляхом гнучкого регулювання паливної апаратури і системи газорозподілу, при яких емісія NO_x істотно знижується в порівнянні з іншими

режимами. Це особливо важливо при експлуатації суден в екологічно чистих «зелених» зонах. Як відомо, на емісію частинок в значній мірі впливає витрата циліндрового масла. Випробування показують, що при зниженні витрат циліндрового масла емісія частинок також знижується. Однак процес зносу циліндричної втулки і поршневих кілець також залежить від витрати циліндрового масла. Необхідно вибирати і підтримувати найкращу для кожного режиму роботи (включаючи перехідні режими) подачу масла, що мінімізувала як емісію частинок, так і динаміку зносу циліндро-поршневої групи. При виборі витрати масла також має братися до уваги вміст сірки в паливі. Ця функція в двигунах М0 вирішується комп'ютером з використанням лубрикатора спеціальної конструкції типу Alpha.

Двигуни серії ME можуть бути оснащені системою глибокого очищення випускних (відпрацьованих) газів від оксидів азоту - SCR реактором (SCR - Selective Catalytic Reduction), використання якого зазвичай дає 90% і більше зниження вмісту оксидів азоту в випускних газах.

Усі необхідні функції SCR добре інтегруються в комп'ютерну систему управління двигуном серії ME.

Двигуни серії ME з електронним управлінням забезпечують досить інтенсивне упрскування палива в циліндр двигуна і стабільне регулювання циклової подачі, незалежно від швидкісного режиму роботи двигуна. Завдяки цьому двигун стійко працює при частоті обертання колінчастого вала, яка становить 10-12% від номінальної частоти обертання. Гнучке управління фазою відкриття випускних клапанів дозволяє інтенсивніше розганяти ротор турбокомпресора, тим самим підвищуючи тиск наддуву. Це, в свою чергу, дозволяє більш динамічно збільшувати подачу палива в циліндри двигуна. Можливість динамічного навантаження двигуна важлива при виконанні маневрових операцій. Система електронного керування двигунами серії ME включає в себе систему попередження перевантаження двигуна.

Особлива увага до проблеми охорони навколишнього середовища, викликаній викидами NO_x , зажадало від виробників дизелів більш ретельного вивчення технологій зниження викидів NO_x . Компанія MAN B & W запропонувала технологію щодо зниження викидів NO_x шляхом рециркуляції випускних (відпрацьованих) газів. При цьому система управління при реалізації технології рециркуляції випускних газів (EGR - Exhaust Gas Recirculation) інтегрована в систему електронного управління двигуном. EGR-процес заснований на перепуску випускних газів перед турбокомпресором з випускного ресивера в систему продувочного повітря.

Кінцевий результат по зниженню викидів NO_x досягається завдяки заміщенню частинок кисню вуглекислим газом, в результаті чого внаслідок уповільнення процесу згоряння знижується максимальний пік температури.

Фірма Wartsila вирішує проблему зниження емісії NO_x наступним чином:

- електронні системи подачі палива типу Common Rail, якими оснащені двигуни Wartsila RT-flex, забезпечують отримання різних профілів подачі палива одночасно з адаптуємими фазами газорозподілу;
- впорскуванням води в камеру згоряння.

Датський підрозділ MAN B & W розробив VTA технологію (Variable Turbine Area - змінний прохідний перетин турбіни), яка відкриває нові адаптивні

можливості. Гнучкість управління витратою повітря є ключовим фактором як для задоволення вимог щодо шкідливих викидів з випускними газами двигунів, так і для поліпшення характеристик витрати палива. VTA-система дозволяє встановити оптимальне співвідношення кількості повітря, що подається і палива, що впорскується в будь-якій точці поля навантажувальних характеристик двигуна, а також поліпшити динамічні властивості системи двигун-турбокомпресор.

На річкових судах та судах змішаного (річка-море) плавання знайшли застосування в основному СОД і ВОД.

У сучасних конструкціях суднових середньо- і високооборотних дизелів в значній мірі реалізований запозичений більш ніж 20-річний досвід виробників дизелів дорожнього транспорту щодо застосування нових технологій управління в системах подачі палива, газообміну і ін. Розглянемо досягнення в частині розробки і застосування електронних систем і засобів управління стосовно до суднових СОД і ВОД.

Заходи з управління робочим процесом дизеля в комплексі включають:

1) застосування електронних систем управління паливними системами високого тиску типу Common Rail (CR), в тому числі з заходами, зазначеними в 2) і 3);

2) застосування багатостадійної подачі палива;

3) управління випередженням подачі палива;

4) зміна фаз газорозподілу;

5) рециркуляції відпрацьованих газів;

6) використання регульованих турбокомпресорів;

7) при набросах навантаження в перехідних процесах дизель-генераторів змінного струму застосовується подача повітря на колесо турбіни або компресора для розгону ротора турбокомпресора і поліпшення динамічних показників і ін.

Всі ці заходи спрямовані на адаптацію двигуна до мінливих умов експлуатації. Набір цих заходів з управління робочим процесом на кожному конкретному двигуні вибирається проектантом залежно від особливостей експлуатації, а також для виконання норм за екологічними показниками.

Комп'ютерний блок керування двигуном, як правило, виконує основні функції управління - регулювання частоти обертання, тиску палива в магістралі, кількості палива, що впорскується і часу уприскування, зміни фаз газорозподілу, що залежать від режимів роботи двигуна. Відповідно здійснюється управління секціями клапанів і електромагнітними форсунками в функції частоти обертання по сигналу від датчика частоти обертання колінчастого вала і датчика високого тиску. Крім того, комп'ютер управляє регулюванням температури охолоджуючої рідини і випускних газів, тиску наддуву і частоти обертання ротора турбокомпресора.

Перераховані вище досягнення, застосовувані в системах електронного управління двигунами, дозволяють зробити висновки про відсутність стримуючих чинників щодо інтеграції ДВС в єдину систему управління СЕУ, що дозволяє реалізовувати сценарії управління в залежності від зовнішніх умов експлуатації судна. При цьому відзначимо, що виробниками суднових ДВЗ приділяється увага питанням підвищення екологічних, економічних і динамічних характеристик, а також питань підвищення надійності, але при розробці систем управління ідеологія управління не виходить за рамки функцій конкретного двигуна, який

буде працювати в складі СЕУ і взаємодіяти зі складним комплексом функціонально взаємопов'язаних елементів СЕУ.

Тема 2. Параметри технічного стану об'єктів СЕУ при експлуатації.

Контролюємі параметри об'єктів СЕУ.

Розглянемо більш докладно об'єкти СЕУ, параметри, які необхідно контролювати з метою використання при діагностуванні технічного стану елементів СЕУ. Моніторинг параметрів здійснюється при експлуатації. Система збору параметрів технічного стану об'єктів СЕУ відповідно до протоколу (прийнятою схемою опитування датчиків і збереження даних) заносить в базу (матрицю) діагностичних параметрів значення параметрів, на основі використання яких (шкалювання, угруповання, порівняння з нормами) комп'ютерна модель діагностування, робить висновок про придатний або непридатний стан об'єктів СЕУ.

Перелік необхідних параметрів для діагностування об'єктів СЕУ представлений в таблиці 2.1.

Таблиця 2. 1 – Контролюємі параметри об'єктів СЕУ

Об'єкт СЕУ		Контролюємі параметр
І Головні/ допоміжні ДВС*	1.1 Двигатель (эффeктивные показатели)	1.1.1 Крутящий момент $M_{крj}$ нафланці двигуна, кН·м (потужність, кВт)
		1.1.2 Витрата палива G_{Tj} , кг/ч
		1.1.3 Частота обертання колінчатого вала n_i , мин^{-1}
	1.2 Робочий процесс	1.2.1 Максимальний тиск циклу p_{maxi} , МПа
		1.2.2 швидкість наростання Тиску $(dp/d\varphi)_i$, МПа/°п.к.в.
		1.2.3 Кут п.к.в Φ_{maxi} , відповідаючий p_{maxi} , °п.к.в.
		1.2.4 Температура випускних газів по циліндрам t_{Ti} , °С
		1.2.5 Тиск в газовипускному трубопроводі p_{Ti} , МПа
	1.3 Система паливopодачі	1.3.1 Тиск впорскування палива p_{Ti} , МПа
		1.3.2 Циклова подача палива $g_{ци}$, кг/цикл
		1.3.3 Кут випередження вприску палива $\alpha_{н,vi}$, °п.к.в.
		1.3.4 Тиск $p_{тпнi}$ запаливopідкачуючим насосом, МПа
		1.3.5 Температура t_{Ti} палива перед паливною апаратурою високого тиску, °С (если применимо)
	1.4 Циліндро-поршнева група	1.4.1 Тиск кінця стиснення p_{ci} , МПа
		1.4.2 Витрата масла двигуном G_{Mi} , кг/ч

		1.4.3 Вібрація в районі кришокциліндрів (віброшвидкість $v_{ци}$, мм/с)
1.5 Колінчатий вал		1.5.1 Вібрація в районі колінчатого валу (віброшвидкість $v_{квi}$, мм/с)
		1.5.2 Температура вкладишів підшипників ковзання або температура ліжок підшипників кочення колінчастого вала $t_{пi}$, °С
1.6 Система змащування і система охолодження двигуна		1.6.1 Тиск масла $p_{мi}$, МПа
		1.6.2 Температура масла на виході із двигуна $t_{м2i}$, °С
		1.6.3 Температура масла на вході в двигун $t_{м1i}$, °С
		1.6.4 Температура охолоджуючої рідини на виході із двигуна $t_{ох2i}$, °С
		1.6.5 Температура охолоджуючої рідини на вході в двигун $t_{ох1i}$, °С
		1.6.6 Циркуляція (проток) охолоджуючої рідини
1.7 Система управління		1.7.1 Час $\tau_{пнпi}$ перехідного процесу пуску, с
		1.7.2 Час $\tau_{ппрi}$ перехідного процесу реверсу, с
		1.7.3 Точність регулювання частоти обертання ε , хв^{-1}
		1.7.4 Час $\tau_{пнчв}$ перехідного процесу зміни частоти обертання, с
1.8 Турбонагнітач		1.8.1 Тиск наддуву p_{ki} , МПа
		1.8.2 Температура наддувочного повітря t_{ki} , °С
		1.8.3 Вібрація турбонагнітача (віброшвидкість $v_{тi}$, мм/с)
		1.8.4 Частота обертання ротору, $n_{тнi}$, хв^{-1}
		1.8.5 Тиск перед турбіною $p_{гтi}$, МПа
1.9 Шкідливі викиди в атмосферу		1.9.1 Емісія e_{NOx} в випускних газах двигуна, г/(кВт ч)
		1.9.2 Емісія e_{CO} в випускних газах двигуна, г/(кВт ч)
		1.9.3 Димність D_i випускних газів двигуна (коефіцієнт послаблення світлового потоку, приведений до шкали димоміра оптичного типу, %)
2 Реверс-редукторна передача (РРП)		2.1 Частота обертання гребного валу $n_{гвi}$
		2.2 Температура масла на виході із РРП, $t_{ппи}$, °С
		2.3 Циркуляція масла через РРП

		2.4 Вібрація РРП (віброшвидкість v_{ppri} , мм/с)
3 Роз'єднувальні і пружні муфти (М)		3.1 Температура зовнішньої поверхні робочих елементів t_{ymi} , °С
4 Підшипники валопроводу (ПВ)		4.1 Температура масла на виході з кожного підшипника (температура кожного підшипника) $t_{пви}$, °С
5 Рушії (ДВЖ)	5.1 Гвинти фіксованого кроку (ВФШ)	5.1.1 Швидкість судна w , км/год 5.1.2 Вібрація (віброшвидкість $v_{ко}$, мм/с) кормової оконечності судна
	Гвинти регульованого кроку (ГРК)	5.2.1 Швидкість судна w при заданому положенні лопастей, км/ год
		5.2.2 Вібрація (віброшвидкість $v_{ко}$, мм/с) кормової оконечності судна
		5.2.3 Тиск $p_{гci}$ в гідросистемі перекладки лопастей, МПа
5.3 Гвинто-рулеві колонки (ВРК)		5.3.1 Швидкість судна w при заданому положенні лопастей, км/год
		5.3.2 Вібрація (віброшвидкість $v_{гri}$, мм/с) гребного валу
		5.3.3 Температура масла $t_{мурi}$ на виході з кутових редукторів, °С
		5.3.4 Вібрація (віброшвидкість $v_{крvi}$, мм/с) карданного валу
6 Електростанція (ЕЕУ)	6.1 Генератори/ валогенератори:	6.1.1 Напруга U_i , В
		6.1.2 Струм I_i , А
		6.1.3 Частота Струму ν_i , Гц
		6.1.4 Опір ізоляції $\omega_{гi}$, МОм
		6.1.5 Температура $t_{стоi}$ статорної обмотки, °С
		6.1.6 Температура $t_{пгi}$ підшипників, °С
		6.1.7 Вібрація (віброшвидкість $v_{генi}$, мм/с) генератору
6.2 Кабельні траси	6.2.1 Опір ізоляції $\omega_{ктi}$, МОм	
6.3 Распределительные щиты, в том числе главные и аварийные		6.3.1 Рівномірність розподілу активного і реактивного навантаження паралельно працюючих генераторів
		6.3.2 Правильне функціонування автоматики
7. Загальносудно ві системи* (СС)	7.1 Осушувальна	7.1.1 Напір H_{oci} насоса, м. вод.ст.
		7.1.2 Подача Q_{oci} насоса, м ³ /ч

		7.1.3 Правильне функціонування системи з сигналом в систему діагностики з занесенням в пам'ять (зчитування останніх показників)	3
	7.2 Баластна	7.2.1 Напір $H_{бі}$ насосу, м. вод.ст. 7.2.2 Подача $Q_{бі}$ насосу, м ³ /ч 7.2.3 Правильне функціонування системи з сигналом в систему діагностики і занесенням в пам'ять (зчитування останніх показників)	
	7.3 Газовипускна	7.3.1 Правильне функціонування всіх перепускних заслонок знаправленням сигналу в систему діагностики і занесенням в пам'ять	
	7.4 Вентиляції	7.4.1 Повний тиск $p_{вені}$ вентилятора, Па 7.4.2 Продуктивність $Q_{вені}$, м ³ /ч 7.4.3 Робота всіх вентиляторів(занесення в діагностичну систему інформації про роботу кожного вентилятора)	
	7.5 Паливна	7.5.1 Правильна робота паливоперекачуючих насосів (занесення в систему діагностики інформації про роботу кожного насоса) 7.5.2 Правильна робота сепараторів палива (занесення в систему діагностики інформації про роботу кожного сепаратора) 7.5.3 Правильне функціонування автоматики наповнення витратних цистерн	
	7.6 Масляна	7.6.1 Правильна робота масляних насосів (занесення в систему діагностики інформації о роботі кожного насоса) 7.6.2 Правильна робота сепараторів масла (занесення в систему діагностики інформації про роботу кожного сепаратора)	
	7.7 Водотушіння	7.7.1 Тиск $p_{пож}$ в пожежніймагістралі, МПа	
	7.8 Пожежекгасіння	7.8.1 Правильное функционирование пожарной сигнализации з сигналом в систему діагностики і занесенням в пам'ять	

	7.9 Газового пожежегасіння	7.9.1 Правильне функціонування системи з сигналом в систему діагностики з занесенням в пам'ять	
	7.10 Аерозольного пожежегасіння	7.10.1 Правильне функціонування системи (перевірка на імітаторах) з сигналом в систему діагностики та занесенням в пам'ять (зчитування останніх показань)	
	7.11 Пінотушіння	7.11.1 Правильне функціонування системи з сигналом в систему діагностики та занесенням в пам'ять (Зчитування останніх свідчень)	
8 Автономные котлы (АК)	8.1 Паровий котел (котли)	8.1.1 ДТиск пари $p_{пкi}$ в паропроводі, МПа	
		8.1.2 Температура пари $t_{пкi}$ в паропроводі, °С	
		8.1.3 Витрата палива $G_{ткi}$, кг/ч	
		8.1.4 Витрата повітря $V_{вкi}$, м ³ /ч	
		8.1.5 Димність $D_{огi}$ відходячих газів	
		8.1.6 Правильне функціонування автоматики	
	8.2 Водогрійний котел	8.2.1 Температура $t_{гвi}$ води на виході, °С	
		8.2.2 Витрата $G_{твкi}$ топлива, кг/ч	
		8.2.3 Витрата $V_{ввкi}$ воздуха, м ³ /ч	
		8.2.4 Димність $D_{огвкi}$ відходячих газів	
		8.2.5 Правильне функціонування автоматики	
	8.3 Котел з високотемпературним органічним теплоносієм	8.3.1 Температура теплоносія на вході в котел, °С $t_{от1i}$	
			8.3.2 Температура теплоносія на виході із котла, °С $t_{от2i}$
			8.3.3 Циркуляція теплоносія
			8.3.4 Витрата $G_{тотi}$ топлива, кг/ч
			8.3.5 Витрата $V_{вотi}$ повітря, м ³ /ч
			8.3.6 Димність $D_{оготi}$ відходячих газів
			8.3.7 Правильне функціонування автоматики
	9.1 Парові	9.1.1 Тиск $p_{пукi}$ пари в паропроводі, МПа	
		9.1.2 Температура $t_{пукi}$ пари в паропроводі, °С	
		9.1.3 Правильне функціонування автоматики заслонок газових	

9.2 Водогрійні	9.2.1 Температура $t_{\text{вук}1i}$ води на вході в УК, °С
	9.2.2 Температура $t_{\text{вук}2i}$ води на виході із УК, °С
	9.2.3 Циркуляція води
	9.2.4 Правильне функціонування автоматики заслонок газових
9.3 З високотемпературним органічним теплоносієм	9.3.1 Температура $t_{\text{оук}1i}$ теплоносителя на входе в УК, °С
	9.3.2 Температура $t_{\text{оук}2i}$ теплоносія на виході з УК, °С
	9.3.3 Циркуляція теплоносія
	9.3.4 Правильне функціонування автоматики заслонок газових

Тема 3. Технічна експлуатація, контроль, аварійність ДВЗ.

Технічна експлуатація суднових двигунів внутрішнього згорання. Аварії двигунів та міри для їх попередження. Контроль технічного стану двигунів.

3.1 Технічна експлуатація суднових двигунів внутрішнього згорання

Під технічною експлуатацією на увазі весь комплекс операцій і робіт з управління, спостереження, догляду та ремонту суднових ДВЗ, який дозволяє утримувати їх в справному стані і ефективно використовувати для руху суден та постачання допоміжних механізмів енергією.

Специфічними особливостями технічної експлуатації суднових двигунів є широкий діапазон зміни чисел оборотів і навантаження, безперервна і тривала робота при потужності, відповідної повного ходу судна, тривала робота на задній хід, а також при кренах і диферентах, пуск в хід під навантаженням і при низьких температурах повітря, швидкі і часті пуски і реверси при маневруванні і розташування двигунів в умовах обмеженого простору машинних відділень.

В останні роки вітчизняний річковий флот, вперше в світовій практиці, перейшов на принципово нову систему технічної експлуатації теплоходів і їх силових установок. До навігації 1966 року всі серійні судна, за винятком великих пасажирських, були обладнані засобами комплексної автоматизації, що дозволяло зняти постійну вахту в машинному відділенні і забезпечити переклад екіпажу на роботу з суміщенням професій і скороченням його чисельності. Так, наприклад, на суднах вантажопідйомністю 2000 т, що становлять основне ядро вантажного флоту, чисельність команди зменшена з 20 до 11 осіб. Одночасно це зажадало значного підвищення кваліфікації судової команди, відповідальної за якісну експлуатацію силової установки судна.

Технічна експлуатація суднових двигунів здійснюється у відповідність до вказівок (РД 31.20.01-97 ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ СУДЕН), що містяться в заводських інструкціях або в спеціально розроблених посібниках. Однак зазначені інструкції та керівництва не можуть передбачити всіх випадків, які трапляються при експлуатації двигунів. Тому ефективна експлуатація їх можлива тільки в тому випадку, якщо обслуговуючий

персонал має чітке уявлення про фізичні процеси, що відбуваються в двигуні, і може правильно оцінити вплив на них різних факторів.

Основну роль в технічній експлуатації двигунів виконує екіпаж судна, очолюваний в цих роботах механіком.

Судновими командами безпосередньо керують і надають їм необхідну допомогу групі механіки та інші інженерно-технічні працівники.

Поточний, оперативний контроль технічного стану діючого флоту здійснює служба судового господарства пароплавства через лінійних механіків, механіків-наставників і теплотехнічні партії.

Виконання на судах певних технічних правил і вимог, що забезпечують безпеку роботи флоту, контролює через своїх представників Річковий Регістр України.

Експлуатація головних судових двигунів

При експлуатації судових двигунів слід керуватися Правилами технічної експлуатації судових паротурбінних і дизельних установок, Правилами техніки безпеки та інструкціями заводу-виготовлювача. Обслуговує двигуни зводиться до приготування їх до дії і пуску, догляду під час дії, припинення роботи і догляду під час бездіяльності.

При підготовці до дії і пуску двигунів виконується наступне:

- прибирають сторонні предмети, ретельно оглядають двигуни і перевіряють надійність їх кріплення;
- перевіряють справність контрольно-вимірвальних приладів, легкість ходу пускових штоків, маневрових, соплових, запобіжних клапанів і газорозподілу; перевіряють наявність масла в маслобаку;
- запускають масляний сепаратор і насос і переконуються в нормальній подачі масла до підшипників, на зачеплення і регулювання;
- перевіряють віджимання гальм валопроводу, запускають валоповоротний механізм і, обертаючи його на передній і задній хід, прослуховують двигун, при цьому сила струму електродвигуна не повинна перевищувати нормальної величини;
- відключають валоповоротний механізм, перевіряють систему сигналізації і зв'язку з ходовим містком і систему ДАУ.

При пускі двигуна в холодну пору необхідно виконати ряд заходів, що полегшують пуск, наприклад прогрів масла в маслобачі, прокачування ДВЗ теплою водою від працюючих дизель-генераторів.

У паротурбінних установках перед пуском:

- вимірюють осьове і радіальне положення роторів турбін і колеса редуктора;
- записують свідчення в вахтовий журнал;
- запускають в роботу циркуляційний насос і систему охолодження конденсатора і маслоохолоджувача;
- заповнюють збірник конденсатора живильною водою і запускають в роботу конденсаційний насос;
- включають головний ежектор і вводять в дію систему закупорювання та відсмоктування, підтримуючи в камерах кінцевих ущільнень розрідження рівним 0,003-0,004 Мн / м².

У головному конденсаторі після отримання вакууму і, коли з містка надійде

дозвіл на пуск, повільно подають пар відповідним маневровим клапаном і починають прогрівати турбіну, ретельно прослуховуючи агрегат і доводячи поступово частоту обертання його до робочої. Тривалість прогрівання і розвиток повної частоти обертання турбін визначаються заводськими інструкціями і складають близько однієї години.

У дизельних установках перед пуском:

- перевіряють системи охолодження, пуску і подачі палива;
- виконують пробний пуск насоса прісної води, якщо він має індивідуальний привід, і перевіряють систему заборотної води;
- перевіряють тиск пускового повітря, яке має скласти не менше 2,5-3,0 Мн / м²;
- прокачують паливну систему до повного видалення з неї повітря.

Для запуску двигуна пускову рукоятку з положення «Стоп» переводять в положення «Пуск». Коли колінчастий вал двигуна досить розкрутиться, його переводять на роботу паливом, ретельно прослуховують і оглядають двигун і обслуговуючі його системи. Прогрівання двигуна на малих обертах виробляють до тих пір, поки контрольовані температури в системах не досягнуть значень, зазначених в інструкціях заводу-виробника. У двигунів, пуск яких проводиться за допомогою електростартера, рукоятку управління ставлять в положення малої подачі палива. Якщо є Декомпресійний пристрій, то його включають. Після розкрутки Декомпресійний пристрій відключають. При появі спалахів в циліндрах стартер і свічки відключають.

Обслуговування головних двигунів під час роботи полягає в підтримці встановлених параметрів і необхідної частоти обертання, яка відповідає заданому ходу, в забезпеченні високої економічності і надійності їх роботи. Перехід від одного режиму роботи до іншого необхідно здійснювати поступово.

З метою контролю стану окремих вузлів і систем дизеля машинна вахта через кожні півгодини, а при роботі дизеля з перевантаженням - через кожні п'ятнадцять хвилин контролює стан і роботу вузлів, а вахтовий механік через кожну годину заносить у вахтовий машинний журнал показання контрольно-вимірювальних приладів, контролюючих роботу систем.

У вахтовий машинний журнал заносяться також команди, що надійшли з містка, і розпорядження старшого механіка, час пуску і зупинки допоміжних механізмів, виникнення несправностей в роботі машинної установки, результати вимірів палива, масла, охолоджувальної води та інші дані, передбачені формою машинного журналу.

На теплоходах, які не мають дистанційного керування головним дизелем, у поста управління постійно повинен перебувати вахтовий механік або старший моторист (моторист I класу).

На судах з центральним постом управління (ЦПУ) машинної установкою вахтовий механік зобов'язаний постійно знаходитися в ЦПУ і контролювати роботу головного дизеля і допоміжних механізмів по контрольно-вимірювальним приладам, інші члени машинної вахти можуть перебувати в ЦПУ і періодично виходити в машинне відділення для контролю роботи окремих вузлів дизеля і допоміжних механізмів. На судах без вахти в МО контроль за роботою машинної установки здійснюється за приладами з командного містка.

При виникненні аварійної ситуації⁴⁹ вахтовий штурман (по телефону або за

допомогою сигналізації) направляє в машинне відділення членів машинної команди, відповідальних в цей час за роботу установки, а також доводить до відома старшого механіка.

Управління головним двигуном під час маневрів здійснює вахтовий механік, а при двохвальній установці - вахтовий і старший механік.

При виникненні несправності в роботі дизеля дозволяється зменшити навантаження або навіть зупинити дизель тільки за наказом вахтового штурмана. У випадках, коли при подальшій роботі дизеля виникає загроза людському життю, допускається зниження оборотів і навіть зупинка дизеля без відома вахтового штурмана, однак після зупинки необхідно негайно доповісти на місток і старшому механіку причину зупинки дизеля. Якщо раптова зупинка дизеля загрожує аварією судна, вахтовий штурман має право вимагати подальшої роботи дизеля, приймаючи можливі наслідки цього на себе. Запис про цю команду заноситься в вахтовий машинний і судновий журнали.

При мимовільній зупинці дизеля необхідно негайно доповісти про це на командний місток і старшому механіку.

У всіх випадках усунення несправностей і виконання робіт дозволяється здійснювати тільки після повної зупинки дизеля. При цьому, якщо передбачається проведення ремонтних робіт в картері дизеля, то з метою попередження нещасних випадків, викликаних поворотом гвинта від набігаючого потоку води за рахунок інерції судна або течії, необхідно обов'язково включити гальмо валопроводу або валоповоротного пристрою.

З метою попередження самочинної зупинки дизеля в складних навігаційних умовах (проходження каналами, вхід і вихід з порту, підхід до іншого судна, плавання в тумані) необхідно відключити систему аварійного захисту дизеля, проте при цьому потрібно уважно стежити за показниками контрольно-вимірювальних приладів, щоб параметри дизеля не досягнули критичних значень. Номінальні і максимально допустимі параметри встановлюються заводом-виробником. Однак, під час експлуатації установки виникають ситуації, коли машинний персонал має право по команді з містка перевищувати ці параметри. Так, згідно з «ПТЕ суднових дизелів», при виникненні загрози людському життю та безпеці судна дозволяється перевантаження дизеля протягом не більше однієї години на 10% по потужності і 3% по частоті обертання. (Деякі фірми допускають більш тривале перевантаження дизеля за часом і за потужністю, що обмовляється в паспорті дизеля.) При роботі дизеля з перевантаженням час оглядів скорочують до 15 хв, при цьому не допускається перевищення параметрів, встановлених заводом-будівельником для режиму роботи з перевантаженням.

На нормальну потужність дизеля впливає також стан атмосфери: температура і вологість повітря, барометричний тиск. Так, згідно з «ПТЕ суднових дизелів», при збільшенні температури на кожні 10 ° С понад 20 ° С, падінні барометричного тиску на 25 мм рт. ст. нижче 760 мм рт. ст. потужність дизеля повинна бути зменшена на 3%. Критерієм стану дизеля при цьому повинні бути такі показники: температура відпрацьованих газів і середнє індикаторне тиск, які для циліндрів не повинні перевищувати номінальних. При експлуатації дизеля на малому навантаженні необхідно стежити за тим, щоб працювали всі циліндри, і якщо спостерігаються пропуски спалахів в окремих циліндрах, то необхідно збільшити обороти, при відсутності терморегуляторів підтримувати

ручним регулюванням номінальну температуру охолоджуючої води; періодичним відкриттям контрольних кранів перевіряти, чи не викидається чи в колектор паливо і масло.

При виведенні ДВС з експлуатації на тривалий період має бути проведена його консервація. Якщо двигун не працює тривалий час і не законсервований, то необхідно періодично повертати колінчастий вал на кілька оборотів, зупиняючи його в іншому положенні; при цьому необхідно прокачувати масляну систему.

Для забезпечення тривалої і безвідмовної роботи судових двигунів з можливо кращими техніко-економічними показниками при експлуатації необхідно:

1. Технічно правильне управління їх роботою, для чого необхідно добре знати переваги і недоліки судових ДВЗ, граничні можливості та оптимальні режими для різних умов плавання.

2. Систематичне і уважне спостереження за справним станом і щоденний технічний догляд.

3. Підтримка оптимальної регулювання роботи окремих вузлів, систем і всього двигуна в цілому.

4. Своєчасне і ретельне виконання рекомендованих профілактичних робіт (періодичних доглядів), що попереджають поломки і відмови в роботі двигуна, що назрівають внаслідок зносу окремих деталей або дії будь-яких випадкових причин.

5. Експлуатація двигунів на певних, рекомендованих сортах палива і мастила при дотриманні відповідних умов зберігання та очищення їх судовими засобами.

6. Своєчасне і високоякісне проведення необхідних ремонтів.

Виконання зазначених умов залежить від кваліфікації плавскладу, ступеня автоматизації дизельних установок, матеріально-технічного постачання судів і від організації технічної оснащеності і технологічного рівня берегових ремонтних баз.

3.2 Аварії двигунів та міри для їх попередження.

Крім планово-попереджувального ремонту може виникнути необхідність в аварійному ремонті. Аварійний ремонт має на меті ліквідувати руйнування або пошкодження, що сталися від недотримання правил технічної експлуатації та від прихованих дефектів в деталях.

Найбільш типові аварії розглядаються нижче.

Рознос двигунів - катастрофічне підвищення числа обертів на холостому ходу або при малому навантаженні. При цьому внаслідок надмірного збільшення сил інерції може статися обрив шатунних болтів, противаг, розрив поршнів і навіть маховика.

Двигун може піти в рознос через неправильне регулювання приводу від регулятора до паливних насосів або через несправність самого регулятора. У першому випадку рознос відбувається внаслідок того, що при повністю розведених вантажах регулятора не вимикається подача палива в усі циліндри. У другому випадку рознос може статися внаслідок заїдання механізму регулятора або його приводу. В обох випадках слід вимкнути подачу палива.

Дуже небезпечним є потрапляння значної кількості масла в камеру згорання. Це іноді відбувається у двигунів з картерною продувкою. Якщо в

картері нагромаджується масло, то воно, розбризкуючись нижньою головкою шатуна, несеться з продувальним повітрям в робочу порожнину циліндра, де служить додатковим паливом. При зупинці двигуна, в момент, коли знімається навантаження і вимикається подача палива, двигун може не зупинитися, і, працюючи на маслі, розвинути велику кількість обертів. Не маючи навантаження, двигун може піти в рознос. В цьому випадку необхідно насамперед навантажити двигун, не включаючи подачу палива, і знизити тиск стиснення в циліндрах. Щоб виключити можливість такого розносу, потрібно стежити за тим, щоб в картері не скупчувалися масло.

Рознос може статися у двотактних двигунів, що мають ресивер продувочного насоса. У таких двигунів при їх зупинці масло, накопичене в ресивері, випаровується, заповнюючи його. Якщо незабаром за цим буде проведений пуск двигуна, то відразу після переходу на паливо двигун піде в рознос, маючи додатковим паливом пари масла. В цьому випадку слід щільно закрити всмоктувальний отвір продувочного насоса, відкрити декомпресійні крани і вимкнути подачу палива. Для попередження такого роду розносу слід *не допускати скупчення масла в ресивері продувочного насоса.*

Заїдання поршня відбувається при перевантаженні двигуна, яка супроводжується перегрівом циліндрів, а також при нестачі мастила або поганому охолодженні двигуна. У всіх цих випадках відбувається надмірне теплове розширення поршня. Зменшення зазору між поршнем і циліндром, а також висока температура погіршують умови мастила. В результаті настає сухе тертя поршня об циліндр; на поверхні циліндра і поршня утворюються задирання, і поршень заклинюється.

Заклинювання поршня при сильному задиранні настає миттєво, двигун з повного ходу, незважаючи на велику силу інерції маховика, зупиняється протягом всього лише декількох оборотів. Це призводить до великих напружень в кривошипно-шатунному у механізмі і може викликати тріщини в колінчастому валу, вигин стержня шатуна, тріщини або обрив шатунних болтів. Однак частіше задирання викликають тільки псування робочих поверхонь циліндра, поршня і поршневих кілець.

Обрив шатунного болта може привести до повного руйнування двигуна. Причиною обриву болта може бути: неправильне закріплення гайки болта, технологічні дефекти болта, робота двигуна з підвищеним зазором в шатунних підшипниках, заїдання поршня в циліндрі. Для запобігання обриву шатунних болтів слід вести систематичний контроль за їх станом і періодично замінювати їх. Після випадку заїдання поршня шатунні болти слід замінити. Не можна допускати завищених зазорів в шатунних підшипниках.

Гідравлічний удар може вийти, якщо через нещільності кришки циліндра або тріщини в ній під час стоянки двигуна в циліндрі накопичилося багато води. Якщо обсяг води, що потрапила в циліндр, перевищить обсяг простору стиснення, то гідравлічний удар може привести до руйнівних наслідків.

Щоб не сталося зазначених аварій під час пуску, слід перед пуском двигуна обов'язково провертати колінчастий вал при відкритому декомпенсаційному (індикаторному) крані. Під час роботи двигуна *ознакою потрапляння води в циліндр є біле забарвлення відпрацьованих газів.*

Тріщини в сорочках і кришках²² циліндрів можуть виникнути при

надмірному відкладенні накипу на стінках позарубашечного простору. Це погіршує теплообмін стінок з охолоджувальною водою і викликає їх перегрів. У двигунів, де гільза відлита заодно з водяною сорочкою, перегрів гільзи викликає велику напругу в стінках водяної сорочки і може, привести до її розриву. *Перегрів кришок* також призводить до виникнення в них тріщин. Крім того, тріщини можуть виникнути від занадто пізньої подачі охолоджуючої води при пуску двигуна (або при перебоях в подачі води), коли він встигає сильно нагрітись.

Для запобігання виникнення тріщин слід позарубашечний простір час від часу чистити від накипу. Крім того, відразу ж після пуску двигуна необхідно забезпечити надходження охолоджувальної води, не допускаючи перебоїв в її подачі.

Технічний системний контроль стану двигуна

3.3 Контроль технічного стану двигунів.

Мета контролю - об'єктивна оцінка технічного стану двигуна. Від технічного стану двигуна залежать надійність роботи, фактичні витрати палива і мастила, здатність його переносити перевантаження і необхідна йому частка уваги з боку екіпажу судна.

Розрізняють *поточний* і *періодичний* контроль технічного стану двигуна.

Поточний контроль складається з експлуатаційних систематичних спостережень за показаннями штатних вимірювальних приладів двигуна, результатів його щоденних оглядів, зорових, шумових та інших вражень від працюючого двигуна і аналізу цих матеріалів.

Відхилення показників приладів від нормальних значень, протікання рідин або газів через нещільності в з'єднаннях деталей, їх підвищене нагрівання, характер шуму при роботі, темне забарвлення відпрацьованих газів при номінальному навантаженні дизеля і інші ознаки говорять про погіршення технічного стану дизеля.

Поточний контроль дає орієнтовну, приблизну оцінку технічного стану двигуна, так як в ньому відсутні спеціальні додаткові виміри і попередня перевірка регулювання; на цю оцінку можуть вплинути випадкові зовнішні обставини і суб'єктивність судження.

Більш точну оцінку технічного стану двигунів дає *періодичний контроль (теплотехнічні випробування)*, вироблений через певні проміжки часу судовий командою або теплотехнічними партіями пароплавства.

Теплотехнічні контрольні випробування головних двигунів потужністю понад 300 е. л. с. на судах флоту повинні проводитися силами судових команд не рідше одного разу на місяць, а також після заміни гребних гвинтів, їх ремонту або ремонту самого дизеля. Контрольні випробування теплотехнічної партії пароплавства повинні виробляти на кожному судні не рідше одного разу за навігацію.

Крім того, теплотехнічні партії проводять спеціальні випробування в зв'язку з різними модернізаційними заходами, нормуванням витрати палива і мастила.

Програма теплотехнічного контрольного випробування передбачає послідовність виконання наступних робіт:

1. Перевірка паливостачальної апаратури дизеля. Форсунки повинні бути перевірені на герметичність, тиск відкриття голки і якість розпилювання палива. Паливні насоси - на герметичність, ²³к_{ут} випередження подачі і положення

нульової подачі палива. При необхідності проводиться відповідне регулювання і заміна дефектних деталей.

2. Перевірка справності і величини зазорів в системі газорозподілу.

3. Перевірка тиску в кінці стиснення, максимального тиску циклу і температури відпрацьованих газів з циліндрів, а також температури перед і за турбонагнітачем при номінальних оборотах вала дизеля.

4. При необхідності проводиться регулювання розподілу потужності між циліндрами шляхом вирівнювання в них максимального тиску циклу і температури відпрацьованих газів.

5. Виробляються контрольні заміри числа обертів вала дизеля, температури відпрацьованих газів з циліндрів, а також до і після турбонагнітача, тиску наддувочного повітря і мастила, температур в системі охолодження і мастила, часу витрачання палива з штатного мірного бачка, температури і щільності цього палива .

Зазначені контрольні заміри повинні проводитися на глибоководній прямій ділянці фарватеру при номінальних обертах валу дизеля, повної розрахункової осадці судна і нормальному ходу (останнє тільки для буксирів і штовхачів). Такі випробування слід проводити в тиху погоду і по можливості при нормальних атмосферних умовах. Заміри повторюються не менше трьох разів для отримання стійких величин.

Отримані результати обробляють, знаходячи витрата палива і ефективну потужність дизеля (зазвичай непрямим методом), і тільки тоді оцінюють технічний стан дизеля.

Проводяться паспортні та спеціальні випробування, пов'язані з різними модернізаційними заходами, нормуванням витрати палива і мастила тощо.

При контрольному випробуванні оцінка технічного стану двигуна визначається в результаті зпівставлення отриманих показників його роботи з заводськими паспортними даними або з показниками цього ж нового двигуна під час здавальних, ходових випробувань теплоходу.

Загальний технічний стан дизеля найбільш об'єктивно можна оцінити *по питомій ефективній витраті палива або коефіцієнту надлишку повітря при номінальному режимі роботи.*

Перший з показників має сенс тільки при достатньо точному знанні величини ефективної потужності, що розвивається під час випробування дизелем, та вимагає її визначення будь-яким незалежним від вимірюваного витрати палива способом; другий, крім орієнтовної оцінки потужності, передбачає використання газоаналізатора для визначення складу відпрацьованих газів.

Можна також оцінити технічний стан дизеля за *величиною мінімально стійких обертів* або за значенням максимальної потужності, що розвивається дизелем при найбільшій допустимій подачі палива і нормальному ході судна по глибоководному фарватеру. При неможливості на судні визначити зазначену потужність можна в тих же умовах роботи орієнтуватися по найбільшому числу обертів вала, що досягається при обертанні гребного гвинта.

Оцінка технічного стану головного суднового двигуна по максимальному числу обертів менш надійна, так як на неї можуть вплинути випадкові зовнішні причини: глибина суднового ходу, перекладка керма, стан гребного гвинта і валопроводу і ін.

Для оцінки технічного стану циліндровий-поршневої групи дизеля використовують тиск кінця стиснення, тиск газів в картері і величину чаду мастила.

Про технічний стан системи мастила і ступеня зносу підшипників колінчастого і розподільного валів можна судити по тиску масла при певній його температурі і номінальному числі обертів вала.

Про технічний стан турбонагнітача говорить тиск наддувочного повітря, зрозуміло, при відсутності витоків через нещільності впускного тракту.

Швидкість обертання ротора турбонагнітача при номінальній потужності дизеля також може служити показником технічного стану турбонагнітача. Про стан підшипників турбонагнітача судять за величиною «вибігання». За часом обертання ротору до повної його зупинки після зупинки дизеля.

Крім перерахованих показників, для оцінки технічного стану дизеля в цілому або його окремих вузлів і систем можуть бути використані і інші показники роботи, однак вони або менш зручні, або схильні до впливу випадкових причин.

Тема 4 Системи моніторингу суднових дизелів в експлуатації

Системи моніторингу суднових дизелів в експлуатації. Системи діагностування

4.1 Системи моніторингу суднових дизелів в експлуатації

Однією з важливих передумов забезпечення технічної безпеки плавання є моніторинг параметрів суднових дизелів (головних і допоміжних) в процесі їх експлуатації. Інформація про поточні значення параметрів робочого процесу суднових дизелів під час експлуатації дозволяє обслуговуючому персоналу підтримувати нормальний технічний стан дизелів і попереджати виникнення аварійних ситуацій. На експлуатованих в даний час річкових суднах моніторинг параметрів двигунів найчастіше зводиться до періодичного контролю тиску і температур - за допомогою максиметра персонал визначає максимальні значення тиску газів по циліндрах (p_{max}) або тиску в кінці процесу стиснення (p_c) при відкритою подачі палива. Крім p_{max} , p_c , температур води і масла можна виділити цілий ряд інших параметрів, моніторинг яких під час експлуатації дає можливість здійснювати більш якісний контроль робочого процесу дизеля і виробляти точне регулювання окремих вузлів.

Так, контроль середнього індикаторного тиску (p_i) дозволяє визначити перевантаження окремих циліндрів і рівномірно розподілити потужність по всіх циліндрах дизеля. Контроль максимальної швидкості підвищення тиску при згорянні палива (жорсткості $\Delta p / \Delta \phi$ робочого процесу) дозволяє обмежити ударні навантаження на підшипники окремих циліндрів і виявляти недоліки в роботі паливної апаратури. За допомогою контролю геометричних і дійсних фаз подачі палива виробляється комплексна оцінка технічного стану паливної апаратури. Контроль фаз газорозподілу під час роботи дизеля дозволяє оперативно оцінити технічний стан газорозподільного механізму і підтримувати паспортні значення кутів закриття і відкриття клапанів. Крім перерахованих вище можна виділити ще цілий ряд параметрів робочого процесу, моніторинг яких під час експлуатації в значній мірі допоможе обслуговуючому²⁵ персоналу підтримувати нормальний

технічний стан дизеля.

До теперішнього часу більшість систем моніторингу судових ДВЗ було спроектовано як єдиний програмно-апаратний комплекс, що виробляє запис параметрів і частковий розрахунок робочого процесу в режимі реального часу. Найбільш характерними системами такого типу є NK-5, NK-100, NK-200 фірми Autronica A / S, а також ряд аналогічних систем, розроблених компаніями TERASAKI ELECTRIC CO.LTD, KONSBERG, JRCS, Hyundai, SAMSUNG, HONEYWELL, SULZER [111].

Системи подібного типу покликані вирішувати два завдання: отримання даних в реальному часі і частковий розрахунок робочого процесу, що дозволяє виробникам випускати завершення комплекси моніторингу судових ДВЗ і надавати технічному персоналу судна великий обсяг інформації, необхідної для якісної технічної експлуатації двигунів. Однак такий підхід до вирішення завдання моніторингу ДВЗ має ряд недоліків:

- недостатньо повне (неточне) моделювання робочого процесу;
- в якості вихідних даних використовується обмежена кількість вимірюваних параметрів;
- не виявляються прогнозовані тренди технічного стану двигуна;
- з'єднання вимірювальної та розрахункової частин систем моніторингу ДВЗ значно збільшує їх складність; для передачі сигналів від двигуна до обчислювального комплексу використовуються довгі кабельні лінії; встановлюються додаткові підсилювачі і перетворювачі сигналів, що знижує надійність функціонування системи в цілому;
- вартість систем подібного типу залишається вельми високою, оскільки складається з вартості не тільки датчиків і первинних перетворювачів, а й усього проміжного обладнання, включаючи вартість обчислювального комплексу і програмного забезпечення. Крім того, комп'ютери в таких системах задіяні тільки для вирішення завдання моніторингу ДВЗ.

Розглянемо системи діагностики середньо- і високотехнологічних двигунів (СОД і ВОД), що застосовуються в даний час.

4.2 Системи діагностування

Система CEDC фірми «Зульцер» (Швейцарія) призначена для діагностування циліндро-поршневої групи (ЦПГ), паливної апаратури (ТА), турбокомпресора, охолоджувача наддувочного повітря (ОНВ). Ця система встановлена на дизелях типу 6RND-90 теплохода «Віллі де Страсбург» (Франція). Діагностична система на базі міні-ЕОМ аналізує поточні параметри дизеля і його технічний стан. При зміні діагностичних параметрів проводиться аналіз тенденцій їх зміни в часі і встановлюється необхідний термін перебирання вузла. Поломка деталі (вузла) попереджається сигналом про досягнення граничного значення параметра. Таким чином, кожен раз проводяться тільки ті роботи, які необхідні для підтримки характеристик дизеля на оптимальному рівні. Діагностичні системи складаються з трьох основних частин: датчиків і перетворювачів сигналів, встановлених на дизелі або в безпосередній близькості до нього; центрального обробного і реєструючого пристрою, розміщеного в центральному пульті управління або в спеціальному приміщенні; засобів зв'язку «людина - машина», нах знаходяться в центральному посту управління (ЦПУ). Сигнали

передаються в цифровому вигляді. Термічне навантаження циліндра вимірюється термодатчиками, встановленими в кришці циліндра (2 шт.), верхній частині втулки (4 шт.) і в нижній частині втулки з боку випуску (1 шт.) на глибині близько 6 мм від робочої поверхні. Чотири термодатчика у верхній частині втулки дозволяють визначити похибку організації процесу згоряння, обертання і вібрацію поршневих кілець, а також зафіксувати сухе тертя, яке відзначає, в основному, датчик в нижній частині втулки. Робота поршневих кілець контролюється двома додатковими датчиками, розташованими в верхній частині втулки. Ці датчики визначають щільність прилягання кілець до втулки в момент проходження кільцем місця установки датчика і фіксують втрату рухливості і поломку кілець; при відсутності кільця в струмку (поломка кільця) інтенсивність сигналу падає не менше ніж на 25%. При аналізі процесу згоряння характерні точки процесу (p_c , p_{max} і ін.) порівнюються з усередненими значеннями за кілька циклів і з інтервалом в 30 секунд отримані дані подаються на друкувальний пристрій. Попереджувальний сигнал в системі виробляється не за абсолютною, а по відносній величині параметра, яка зберігається в пам'яті ЕОМ, а також на магнітній стрічці.

Система СІПВА фірми «Зульцер» забезпечує безперервне вимірювання і реєстрацію зносу верхнього поршневого кільця дизеля, а також зазначає обертання кілець або його відсутність. Датчики - індуктивні. Верхні поршневі кільця головного двигуна спеціальної конструкції. Датчики встановлюються в наскрізних свердліннях втулки врівень з її робочою поверхнею. Обчислювальний пристрій за визначеними програмами оцінює загальний технічний стан дизеля і залишковий ресурс деталей ЦПГ, рекомендує час чергового профілактичного обслуговування. Діагностична система може бути з'єднана зі штатними системами управління і регулювання (регулятором «Вудвард», системою регулювання циркуляційної і циліндричної мастила) і може приймати участь в загальному процесі автоматичного регулювання режиму роботи дизеля, аж до аварійної зупинки його в разі небезпечного виходу за норму будь-яких контрольованих параметрів, в тому числі в системах підготовки палива і масла, охолодження і т. п.

Система DETS фірми «Норконтрол» (Норвегія) являє собою вимірювальний комплекс, що дає інформацію про систему впорскування палива та процесі згоряння в дизелі у вигляді роздрукованих значень параметрів і графіків. Система використовує два датчики (тиску уприскування палива і тиску в циліндрі) п'єзоелектричного типу. Два магнітні датчики дають інформацію про кут ПКВ і частоту обертання. Додатково встановлюється датчик тиску продувочного повітря. Реєструються такі характерні параметри: p_i , p_c , p_{max} , тиск розширення в точці 40° після ВМТ, момент максимального тиску, град. ПКВ; різниця між найбільшим і найменшим значеннями p_i протягом п'яти ходів поршня. Для візуального контролю будується діаграма тиску стиснення в зоні ВМТ і крива тиску впорскування.

Система PED фірми «Пілстік» (Франція) вперше була встановлена на дизелі 18PC2-5V теплохода «Ренор». За допомогою системи діагностуються середньооборотні дизелі фірми «СЕМТ-Пілстік» серій PC-2, PC-3, PC-4. Діагностичною системою контролюється стан корінних підшипників колінчастого вала і верхнього поршневого кільця, агрегатів турбокомпресора. Датчики системи вимірюють такі параметри: температуру і тиск за охолоджувачем (ОНВ),

температуру охолоджуючої води на вході в ОНВ, тиск повітря за турбокомпресором, положення рейок паливних насосів високого тиску ТНВД, частоту обертання ротора турбокомпресора, вібрацію підшипників турбокомпресора з видачею попереджувальних сигналів при підвищеній вібрації за допомогою датчика стану підшипників (безконтактного датчика переміщення). Датчик дає можливість виявити порушення центрування колінчастого вала. Стан верхнього кільця контролюється індуктивним датчиком «Ніппо» фірми «Віброметр».

Система «Віброметр» фірми «Віброметр» (Швейцарія) діагностує такі вузли: ЦПГ, системи упорскування палива, турбокомпресора, поршневих кілець. Діагностична система випробовувалася на дво- і чотиритактних малооборотних дизелях, СОД і ВОД. Діагностична система контролює такі вузли дизеля: поршень (поява стукотів, задираки); клапани, деталі клапанних приводів (розподільний вал, коромисло і т. д.) ТНВД; підшипники (знос), а також такі параметри, як частота і напрямок обертання колінчастого вала, ртах і характеристики впорскування. У діагностичній системі використовуються п'єзоелектричні датчики, які збирають інформацію про акустичні сигнали, після обробки яких робиться висновок про нормальний або аномальними стані вузлів.

Система МЕКОМ фірми «Статронік» (Норвегія) призначена для діагностування дизелів, турбін, котлів, з її допомогою реєструються наступні параметри: рівень вібрації механізмів, температури підшипників турбін, втулок циліндрів, температура випускних газів, тиск в різних точках газоповітряного тракту [112].

Системи «Комос-D1, -D2, -D3, -D4» фірми МНІ (Японія), що використовують електронно-променевою трубку і систему діалогу, призначені для діагностування головного і допоміжних двигунів. Вимірювані значення порівнюються з еталонними, що зберігаються в пам'яті ПК.

З представленого аналізу існуючих діагностичних систем ДВЗ можна зробити наступні висновки:

- в даний час кожен виробник ДВЗ насамперед стурбований моніторингом параметрів (діагностикою) тільки свого двигуна, універсальні системи моніторингу для двигунів будь-яких моделей не створюються;

- установка спеціалізованих діагностичних комплексів здійснювалася на ДВЗ досить високої потужності, застосовуваних на морських судах, в той же час на річкових і змішаних (річка-море) плавання судах такі системи до цих пір не застосовувалися. Технічна діагностика двигунів на судах з класом Річкового Регістру зводиться до зняття індикаторних гребінок, теплотехнічного контролю і подальшої ручної обробки отриманих результатів судовими механіками або теплотехнічними партіями.

Однак, технічний прогрес і встановлені Урядом України орієнтири вимагають перегляду підходів в області технічної діагностики судових технічних засобів на внутрішньому водному транспорті, тим більше що прогрес в галузі управління об'єктами СЕУ і діагностики їх технічного стану з неминучістю вимагають переходу організацій за класифікацією на новий рівень реалізації процедур класифікації та огляду суден.

Виконаний аналіз показує, що в даний час рішення задачі технічної діагностики судових двигунів, а отже, і інших менш²⁸ складних об'єктів СЕУ річкових суден

стає можливим, оскільки, сучасні електронні системи управління дозволяють здійснювати безперервний моніторинг технічних параметрів, тобто збір та обробку інформації, отриманої від датчиків регульованих величин і процесів. У зв'язку з цим завдання установки спеціалізованих діагностичних комплексів стає неактуальною, оскільки інформація, отримана від електронних систем управління двигуном і іншими об'єктами СЕУ, може оброблятися центральним комп'ютером управління або комп'ютером машинного відділення з метою управління та діагностування всієї СЕУ, а не тільки її окремих об'єктів.

Проведений автором аналіз сучасних датчиків, що залишився за рамками цієї роботи, дозволяє зробити висновок, що технічних обмежень по вимірюванню діагностичних параметрів на сучасному етапі технічного прогресу немає.

В даний час промисловістю випускаються різноманітні датчики, що дозволяють вимірювати параметри робочого процесу найскладнішого для діагностування об'єкта СЕУ - ДВЗ. Для контролю тиску газів в циліндрах найбільш широко застосовуються такі неохолоджувані датчики: тензометричні датчики GT-20 (20A, 21) фірми Autronica A / S; п'єзоелектричні датчики фірми Kistler; оптичні датчики Optrand; ємнісні датчики PS-16 DEPAS. Особливостями вказаних датчиків є широкий діапазон робочих температур - від 25 ° С до 500 ° С. Типовий робочий діапазон вимірюваних тисків 200-250 бар. Для аналізу процесу упорскування палива застосовують датчики тиску, розраховані на роботу при високих імпульсних навантаженнях з максимальними тиском до 2000-3000 бар. Робочий температурний діапазон датчиків тиску палива досягає 150 ° С. Для вимірювання температури і тиску застосовуються відповідно датчики серій Sentry і GT фірми Kongsberg. Для вимірювання віброшвидкості можливе використання датчиків типу ДВС-І (ТОВ «Енергогазприлад»), що мають два незалежні канали вимірювання - канал Х і канал Y. Для замірів шкідливих викидів в атмосферу можуть бути використані датчики фірм NGK Spark Plugs і Siemens VDO. Як приклад можна привести інтелектуальний датчик з багат шаровим сенсорним елементом ZrO₂, який розроблений спільно з NGK і випускається Siemens VDO. Датчик допускає як пряме вимірювання NO_x, так і співвідношення повітря / паливо. Інтелектуальний датчик включає газовий сенсорний елемент і електронний блок, що генерує три сигнали: NO_x, двійковий, лінійний. Дані передаються до ECU двигуна за допомогою шини CAN.

Тема 5. Суднові комбіновані пропульсивні комплекси.

Сучасні концепції енерго-заощаджувальних технологій у транспортній галузі. Класифікація комбінованих пропульсивних комплексів. Модель пропульсивного комплексу вантажного судна для розрахунку витрат палива.

5.1 Сучасні концепції енерго-заощаджувальних технологій у транспортній галузі

Жорсткість вимог з охорони навколишнього середовища, майбутній перехід на більш дорогі сорти палива з низьким вмістом сірки, необхідність зменшення шкідливих викидів в атмосферу, зниження шумових характеристик суден в певних районах плавання, виділення окремих районів судноплавства і портів, де виключається робота судових дизелів, викликало необхідність пошуку

альтернативних джерел енергії, які б відповідали сучасним вимогам морського і екологічного законодавств.

Реалізація Транспортної стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України №2174-р від 20 жовтня 2010 року) обмежується, з одного боку, необхідністю розглядати проектування, дослідження та експлуатацію СЕУ КПК як самостійні галузі і в той же час, як частини системи підтримки прийняття рішень більш високого рівня, яка виступає єдиним цілим для означених галузей. У свою чергу кожен елемент СЕУ КПК має власну структуру і також може розглядатися як окремий елемент у процесі передачі потужності від СЕУ до рушіїв.

Вивчення альтернативних дизельних і газових двигунів для СЕУ КПК, де особлива увага приділяється системам рекуперації тепла вихлопних газів, привело до значної економії щорічних експлуатаційних витрат, але не вирішило екологічних проблем. Застосування систем утилізації тепла, які покривають частину споживання електроенергії, та пристроїв для зниження шкідливих викидів у атмосферу є перспективними напрямками розвитку СЕУ КПК, але такими, що поступово втрачають актуальність.

Гібридні СЕУ КПК з альтернативними джерелами енергії (АДЕ), які використовують максимальну ефективність прямого механічного приводу і гнучкість поєднання потужності згоряння від теплового двигуна і накопиченої енергії з АДЕ, є найбільш перспективними. На низькій потужності пропульсивного електричного приводу, призначеного для приведення у рух судна, ГЕД забезпечує необхідну потужність, а надлишок потужності теплового двигуна може бути використаний в якості живлення власних потреб від валогенератору.

5.2 Класифікація комбінованих пропульсивних комплексів.

Комбіновані пропульсивні установки (КПУ) знаходять все більш широке застосування на суднах різного призначення. Вони поєднують в собі переваги пропульсивних установок на базі теплових головних двигунів і гребних електричних установок (ГЕУ), що дозволяє судну працювати з високими техніко-економічними показниками в різних режимах експлуатації.

КПУ є установкою, в якій енергія для руху судна виробляється в двох або більше різнотипних судових двигунах - теплових та електричних. Дані установки є складними електромеханічними системами, призначеними для забезпечення руху в різних режимах експлуатації судна і виробництва електроенергії в режимі економічного ходу або при стоянці. КПУ відрізняє велике різноманіття схемотехнічних рішень, складу обладнання та режимів роботи. Пропульсивною установкою (ПУ) називають комплекс механізмів і пристроїв, призначених для забезпечення руху судна. Судова ПУ складається з рушіїв, валопроводу, головних судових передач, головних теплових або гребних електричних двигунів. На суднах знаходять застосування ПУ різних типів. Найбільшого поширення в даний час знаходять пропульсивні установки з головними тепловими двигунами. Широке поширення отримали судові системи електроруху (СЕД). Цим пропульсивним установкам притаманні переваги і недоліки, які визначають область їх застосування.

Прагнення поєднувати переваги пропульсивних установок різних типів стимулювало створення комбінованих (гібридних) пропульсивних установок. У Правилах Регістру дано таке визначення: «Пропульсивна установка - комплекс механізмів і пристроїв, призначений для вироблення, перетворення і передачі енергії, що забезпечує рух судна на всіх специфікаційних режимах ходу, і складається з рушіїв, валопроводів, головних суднових передач і головних двигунів, в тому числі гребних електродвигунів », звідки видно, що до складу ПУ в якості головного двигуна (ГД) може входити гребний електродвигун (ГЕД). У той же час ГЕД входить до складу ГЕУ. Правила Регістру містять наступне визначення ГЕУ: «Гребна електрична установка (ГЕУ) - комплекс обладнання для розподілу і перетворення електричної енергії в механічну з метою відтворення заданого упору одним гребним рушієм» [6, с. 113].

Структурні схеми суднових ПУ представлені на рис. 1.

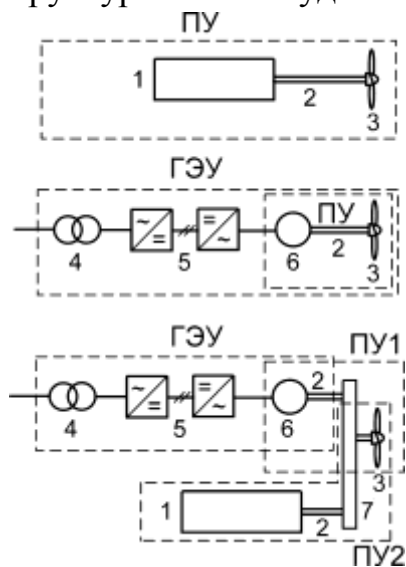


Рисунок 5.1 - Структурні схеми суднових ПУ

Структурні схеми ПУ: а - на базі теплового ГД; б - на базі ГЕД; в - КПУ: 1 - тепловий ГД; 2 - валопровід; 3 - гребний гвинт; 4 - трансформатор; 5 - перетворювач частоти; 6 - ГЕД; 7 - редуктор

Всі ПУ за типом головних двигунів можна розділити на установки з тепловими головними двигунами, установки з ГЕД і комбіновані пропульсивні установки, де в якості головних двигунів застосовуються як теплові двигуни, так і ГЕД.

В якості теплових двигунів в ПУ можуть застосовуватися дизель, газодизель, газова або парова турбіна, в якості ГЕД - електричні машини змінного або постійного струму. В якості рушія використовується гребний гвинт фіксованого або регульованого кроку (ВФШ, ГРК), гвинто-рульова колонка (ВРК) та інші типи рушіїв. Для з'єднання турбін і середньооборотних дизелів з гребним гвинтом застосовуються знижуючі редуктори. За кількістю головних двигунів, що працюють на один рушій, пропульсивні установки можна розділити на одномашинні і багатомашинні. В багатомашинних пропульсивних установках можуть застосовуватися як теплові головні двигуни, так і ГЕД. Якщо одночасно в складі однієї пропульсивної установки використовується тепловий головний двигун і ГЕД, що працюють на загальний рушій, то така установка є КПУ.

У одновальних багатомашинних пропульсивних установках на базі теплових двигунів два або більше теплових двигуна працюють на загальний гребний гвинт. Як правило, з'єднання теплових головних двигунів відбувається за допомогою редуктора. У одновальних багатомашинних пропульсивних установках в якості головних двигунів можуть застосовуватися однотипні двигуни однакової або різної потужності або теплові двигуни в різних поєднаннях: дизель - газова турбіна, дизель - парова турбіна, парова і газова турбіна. У технічній літературі пропульсивні установки з різнотипними тепловими двигунами, працюючі на загальній рушій, також отримали назву комбінованих пропульсивних установок.

Суднові пропульсивні установки можна класифікувати за кількістю рушіїв (гребних валів) на одновальні і багатовальні. До складу багатовальних пропульсивних установок можуть входити як однотипні, так і різнотипні теплові двигуни. Багатовальні пропульсивні установки можуть бути побудовані на базі багатомашинних агрегатів з декількома двигунами, що працюють на загальній рушій. В останні роки на суднах отримали застосування багатовальні пропульсивні установки, в яких для приводу гребного гвинта застосовуються як теплові ГД, так і ГЕД, що працюють кожен на свій рушій. Як правило, кількість гребних валів на таких суднах не менше трьох.

До складу КПУ установки входять: рушій (гребний гвинт, гвинто-рульова колонка і ін.), гребний валопровід, головна суднова передача (редуктор, муфта та ін.), головний тепловий двигун (дизель, турбіна, газодизель), гребний електродвигун.

Класифікація КПУ може бути виконана по ряду ознак, в тому числі за типом рушія, головного теплового двигуна або ГЕД, режимам експлуатації та іншими ознаками. Виконаний аналіз структурних схем сучасних КПУ показує, що однією з основних ознак, за якими слід класифікувати дані установки, є спосіб передачі крутного моменту на гвинт і тип рушія.

За типом передачі крутного моменту на рушій і типу рушія КПУ можна розділити наступним чином:

- КПУ з прямою передачею крутного моменту на гребний гвинт;
- КПУ зі знижувальними редукторами;
- КПУ з ВРК (гвинто-рульова колонка).

5.3 Модель пропульсивного комплексу вантажного судна

Допустимо, що швидкість прямо пропорційна частоті обертання вала двигуна ω :

$$v = k(q, H) \cdot \omega, \quad (4.1)$$

де коефіцієнт $k(q, H)$ враховує вплив на швидкість зміни навантаження q і глибини шляху H . При цьому вважаємо, що момент на валу ГД залежить від частоти обертання вала двигуна в такий спосіб:

$$M = \frac{M_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{ШВ}}^2} \left(1 - W \frac{v}{\omega_{32}} \omega^2 \right), \quad (4.2)$$

де $\omega_{шв}$ - частота обертання на швартових,

$M_{ном}$ - момент на валові ГД при номінальній потужності $N_{еном}$,

W – параметр апроксимації моделі.

Універсальну характеристику двигуна будемо обчислювати з розв'язання рівняння:

$$N_e = A N_u \frac{G}{3600} \alpha^{\frac{1}{\alpha}} - N_m, \quad (4.3)$$

де N_m - потужність механічних втрат, A – параметр апроксимації моделі двигуна.

При цьому коефіцієнт надлишку повітря дорівнює:

$$\alpha = \frac{B}{G}, \quad (4.4)$$

де B – другий параметр апроксимації моделі.

Потужність механічних втрат може бути визначена з формули:

$$N_m = \frac{1 - \eta_m}{\eta_m} N_{еном}, \quad (4.5)$$

где η_m - механічний ККД, який можна прийняти рівним 0,9.

Прийнявши також коефіцієнт надлишку повітря рівним 2 для всіх двигунів, можна легко визначити константи A и B .

Параметри апроксимації W та $\omega_{шв}$ визначаються за даними випробувань, а саме: значень швидкості $v_{гр}$ та $v_{пор}$, а також годинної витрати палива ГД $G_{гр}$ та $G_{пор}$ в навантаженому та порожньому стані відповідно.

Якщо вважати, що гвинт судна оптимальних або легкий, то це дозволить обійтися без значень частоти обертання вала двигуна при іспитах і прийняти величину ω безрозмірною. Для визначення параметрів апроксимації, по-перше, визначаються значення ефективної потужності ГД $N_{егр}$ в навантаженому стані та $N_{епор}$ в порожньому, через рішення нелінійних рівнянь $G_{гр} = f(n_{гр}, N_{егр})$ та $G_{пор} = f(n_{пор}, N_{епор})$ відповідно. Після визначається момент на валу ГД в навантаженому і порожньому станах:

$$M_{гр} = \frac{N_{егр}}{2\pi}, \quad M_{пор} = \frac{N_{епор}}{2\pi} \quad (4.6)$$

Відсутність у цих формулах частоти обертання вала ГД у знаменнику впливає з допущення про оптимальність гвинта і без розмірності ω . Номінальний момент визначається по такій же формулі $M_{ном} = \frac{N_{еном}}{2\pi}$. Зі значення моментів у вантажеві і порожньому складаються і вирішуються два рівняння щодо

невідомих W та $\omega_{шв}$. На рисунку 4.1 приведено обмежувальні характеристики, розраховані за допомогою спрощеної моделі ПК для танкера 1577.

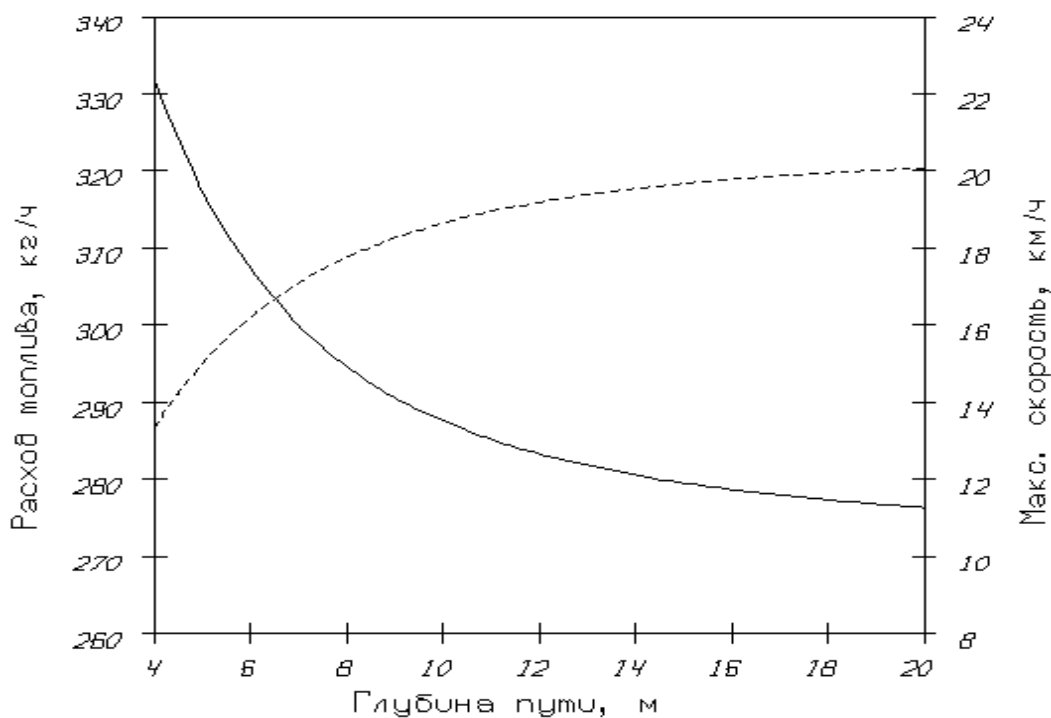


Рисунок 4.1 – Обмежувальні характеристики в спрощеній моделі руху судна, суцільна – $G=f(H)$, пунктир – $v=f(H)$

На етапі обґрунтування невідомі ні швидкість у вантажному стані, ні швидкість порожньому, ні витрата палива, споживана при цих швидкостях. Однак відомі, як правило, потужність ГД і геометричні розміри корпусу.

Використання адміралтейських коефіцієнтів для визначення швидкості можливо, але недостатньо, тому що подібним чином неможливо визначити швидкість судна у порожньому стані.

Відомо, що для задач техніко-економічного обґрунтування судів Л.І. Фомкінським були запропоновані залежності між критеріями завантаження гвинта (комплексу) по упору $\sigma_p(\sigma_k)$ та потужності σ_N для чотирьохлопасних гвинтів з дисковим відношенням 0,55-0,58 :

$$\sigma_{N^{1/3}} = 1,16\sigma_p^{5/12}; \sigma_{N^{1/3}} = 1,13\sigma_k^{3/8}, \quad (4.7)$$

де перша залежність для ГВ без насадок, а друга - з насадками. Оскільки, відомо:

$$\sigma_P = \frac{8R_1 - t}{\rho \pi D^2 v * 1 - \psi^2}; \sigma_N = \frac{8N_e \eta_{\pi}}{\rho \pi D^2 v * 1 - \psi^3}, \quad (4.8)$$

то залежності (4.8) можна розглядати як нелінійні рівняння щодо швидкості руху судна, що вирішуються методом половинного ділення. При цьому приймається наближене значення діаметра ГВ.: $D=0,2\sqrt[3]{N_e}$.

Наступний етап - це визначення швидкості судна і споживаної при цьому ефективній потужності порожньому стані (у баласті).

Для цього прийемо, що ефективний упор двигунів P може бути апроксимовано формулою:

$$P = a - b \frac{v}{w} w^2, \quad (4.9)$$

де w - частота оберту гвинтів, a та b - деякі змінні. Переходячи до безрозмірної частоти обертання ω , отримаємо:

$$P = a w_{\text{НОМ}}^2 - \frac{b}{w_{\text{НОМ}}^2} \frac{v}{\omega} \omega^2 = \alpha - \beta \frac{v}{\omega}. \quad (4.10)$$

Коефіцієнти α та β можна визначити з умови рівності упора нулеві при ході нульового упора H_1/D , а також з умови рівності упора опорів судна $R_{\text{ГР}}$ при русі з раніше обчисленою швидкістю у завантаженому стані $v_{\text{ГР}}$:

$$\alpha = w_{\text{НОМ}}^3 \beta \frac{H_1}{1 - \psi}; \beta = \frac{R_{\text{ГР}}}{w_{\text{НОМ}}^3 \frac{H_1}{1 - \psi} - v_{\text{ГР}}}, \quad (4.11)$$

де ψ - коефіцієнт попутного потоку. Величина H_1/D може бути прийнята по прототипі. У середньому для річкових вантажних судів вона дорівнює 0,993.

Після цього розв'язується нелінійне рівняння $R=P$ щодо швидкості судна при осаді в баласті. Отримана швидкість, а так само відповідна ефективна потужність приймаються за шукані величини для порожнього (баластового) судна.

Приклад розрахунку швидкості у завантаженому стані для вантажного судна вантажопідйомністю 5000 т і розмірами, такими ж як у танкера проекту № 1577. Розрахунок по моделі у завантаженому стані дає значення швидкості 19,5 км/год, а порожньому - 21,3 км/год при потужності ГД 2x736 кВт. Значення швидкості по теплотехнічних іспитах - 19,7 км/год і 20,6 км/год відповідно. Для моделі з розмірами судна проекту 507Б одержуємо 19,1 км/год і 20,8 км/год при значеннях для реального судна 19,4 км/год і 21 км/год відповідно.

У випадку якщо для судна невідомі ні геометричні параметри корпусу, ні потужність енергетичної установки (ЕУ), то можна застосувати такий спосіб.

Як відомо, при проектуванні судів використовується коефіцієнт використання водотоннажності по чистій вантажопідйомності:

$$\eta_{\Gamma} = Q_p / D_{\text{полн}} \quad (4.12)$$

де $D_{\text{полн}}$ - водотоннажність судна у навантаженому стані. Для річкових вантажних судів цей коефіцієнт може розраховуватися за допомогою лінійної інтерполяції по точках 0,65 при реєстровій вантажопідйомності 2000 т і 0,75 при реєстровій вантажопідйомності - 5000 т або по прототипу.

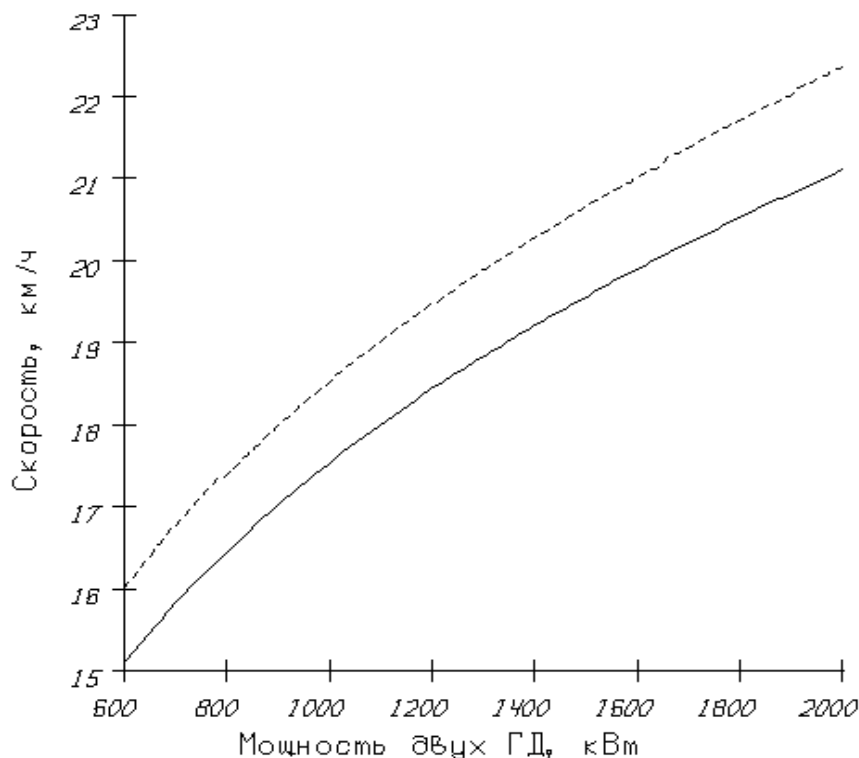


Рисунок 5.2 - Прогнозні максимальні швидкості для вантажного теплоходу вантажопідйомністю у 5000 т (суцільна - у завантаженому стані, пунктир – порожньому)

За допомогою формули по заданому значенню вантажопідйомності визначаються водотоннажність у вантажному і порожньому стані (лише із запасами і командою).

Знаючи водотоннажність, а також задані залежності L/B , B/T і коефіцієнти повноти водотоннажності δ по визначаються всі необхідні показники розмірів корпусу:

$$B = \sqrt[3]{\frac{D_{\text{полн}} B/T}{\delta L/B}}; L = L/B B; T = \frac{B}{B/T}. \quad (4.13)$$

Потужність ЕУ для суден різної вантажопідйомності може бути прийнята, наприклад, за даними.

Якщо задати вантажопідйомність 5000 т, то при значеннях відношення $L/B=7$ $B/T=4,7$ и $\delta=0,85$, то одержимо судно розмірами $L \times B \times T=121,7\text{м} \times 17,4\text{м} \times 3,7\text{м}$, при потужності ЕУ 1760 кВт та швидкості 20,2 км/ч.

Побудована модель пропульсивного комплексу дозволяє з мінімальним набором вихідних даних проводити дослідницькі розрахунки витрати палива реальними суднами.

Питання до заліку

1. Теоретичний цикл дизеля з газотурбінним наддуванням при постійному тиску газів перед газовою турбіною.
2. Теоретичний цикл дизеля з газотурбінним наддуванням при змінному тиску газів перед газовою турбіною.
3. Аналіз характеристик теоретичних циклів комбінованих ДВЗ.
4. Аналіз характеристик палив для СДВЗ.
5. Вплив властивостей палив на роботу СДВЗ.
6. Склад і властивості повітряного заряду.
7. Робочий процес дизеля (розрахункова модель).
8. Визначення індикаторних показників суднового дизеля в експлуатації.
9. Аналіз індикаторного КПД.
10. Контроль ефективних показників СДВЗ в експлуатації.
11. Коректування робочого процесу СДВЗ із метою поліпшення екологічних показників.
12. Основна мета й завдання технічного діагностування (ТД).
13. Організаційні й технічні принципи ТД.
14. Тестова й функціональна схеми ТД.
15. Критеріальні способи ТД, їх структура.
16. Параметричні способи ТД, їх структура.
17. Еталонні характеристики в ТД.
18. Характеристика діагностичних параметрів. Інформативність, чутливість.
19. Алгоритми діагностування, математичні моделі.
20. Загальна характеристика вібраційного контролю для оцінки технічного стану об'єктів, параметри вібрації, їх взаємозв'язок.
21. Частотний (спектральний) аналіз вібраційних характеристик, його основна мета при ідентифікації джерел коливань. Нормативні величини вібрації.
22. Віброперетворювачі (п'єзоелектричні й індуктивні), їхні переваги й недоліки, загальні вимоги до установки віброперетворювачів на об'єктах діагностування.

23. Голографічні способи виміру вібрації.
24. Термографічні методи діагностування.
25. Безконтактні методи вимірів лінійних переміщень для контролю зносів.
26. Оптичні засоби діагностування.
27. Діагностування по аналізу включень у маслах.
28. Порівняльна оцінка економічності різних типів СЕУ.
29. Показники економічності та методи їх підвищення.
30. Фізичний сенс теплового балансу СДУ. Його основні складові.
31. Співвідношення складових теплового балансу СДУ. Шляхи їх визначення.
32. Способи утилізації теплоти.
33. Кількісні показники ступені утилізації.
34. Основні складові опору руху судна.
35. Залежність між швидкістю судна та потужністю суднової пропульсивної установки.
36. Вплив швидкості судна на ефективність морських перевозок.
37. Вплив швидкості судна на дальність плавання.
38. Взаємодія гребного гвинта, корпусу судна і головного двигуна на стаціонарних режимах роботи.
39. Ходова характеристика судна.
40. Поле можливих режимів роботи судових дизелів.
41. Поле допустимих тривалих навантажень двигуна. Основні етапи побудови паспортної діаграми ГРК.
42. Вибір головного двигуна для прототипу судна.
43. Оцінка узгодженості головного двигуна з гребним гвинтом.
44. Гвинтова характеристика. Її різновиди.
45. Особливості взаємодії елементів СПУ на режимах з перевантаженою гвинтовою характеристикою.
46. Причини підвищеного опору руху судна на малих глибинах.
47. Режими роботи ГД в умовах малих глибин води.
48. Режими роботи ГД на швартовах. ³⁹

49. Умови функціонування пропульсивної установки судна при буксируванні.
50. Взаємодія корпусу судна, гребного гвинта та двигуна на штормову погоду.
51. Режим роботи головного двигуна (дизеля) при оброслому корпусі судна.
52. Взаємодія елементів СПУ при маневруванні.
53. Вивід головного двигуна (дизеля) на режим повного ходу після маневрування.
54. Режим роботи ГД при реверсі судна.
55. Нормальний та екстрений реверс судна.
56. Основні вимоги до систем СЕУ.
57. Особливості технічного використання систем СЕУ.
58. Основні вимоги до паливної системи СЕУ.
59. Основні вимоги до системи змащення СЕУ.
60. Основні вимоги до системи охолодження СЕУ.
61. Основні вимоги до системи стиснутого повітря СЕУ.
62. Основні вимоги до системи газовипуску СЕУ.
63. Вплив параметрів навколишнього середовища на показники роботи дизельних двигунів.
64. Комплектація суднової паротурбінної установки (СПТУ).
65. Показники економічності суднової паротурбінної установки (СПТУ).
66. Регенерація тепла в суднової паротурбінної установки (СПТУ).
67. Особливості експлуатації суднової паротурбінної установки (СПТУ) при характерних відмовах її елементів.
68. Основні схеми суднової газотурбінної установки (СГТУ).
69. Методи підвищення ККД (суднової газотурбінної установки) СГТУ.
70. Комбіновані суднові газопаротурбінні установки (СГПТУ).
71. Особливості робочих речовин, що застосовуються в суднової газотурбінної установки (СГТУ).
72. Особливості систем суднової газотурбінної установки (СГТУ).
73. Підготовка до дії та пуск суднової газотурбінної установки (СГТУ).
74. Основні типи випробувань СЕУ.

75.Теплотехнічний контроль СЕУ.

76.Технічна експлуатація – основна частина процесу виробництва на морському транспорті.

5. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Панин В.В. Основы эксплуатации судовых энергетических установок (4-е издание, переработанное и дополненное) / Панин В.В., Носовский А.М. и др. Николаев, 2014. 416 с.
2. Бурмака И.А. Судовые энергетические установки и электрооборудование судов: учебник / И.А. Бурмака, А.В.Кирис, Н.А. Козьминых. Одесса: ОНМА, 2013. 136 с.
3. Харин В.М. и др. Судовые машины, установки, устройства и системы: учебник для высших морских учебных заведений. Одесса: Феникс, 2010. 646 с.
4. Артемов Г.А., Горбов В.М., Романовский Г.Ф. Судовые установки с газотурбинными двигателями. Учебное пособие для вузов. –Николаев: УГМТУ, 1997. -233 с.
5. Беляев И.Г. и др. Дизельные автоматизированные установки морских судов: Учебник для морских колледжей.- М.: Транспорт, 2003.
6. Брыль А.И. Переменные режимы судовых турбин. Учебное пособие.- Одесса, 2002.
7. Овсянников М.К. Петухов В.А. Судовые дизельные установки. Справочник. -Л.: Судостроение, 1986. -424с.
8. Самсонов В.И., Худов Н.И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов. Учебник для вузов. -М.: Транспорт, 1990.— 368с.
9. Суворов П.С. Судовые двигатели внутреннего сгорания: учебник. – Одесса: ОНМА, 2011. -600 с.

Додаткова

1. Фомин Ю.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания/Фомин Ю.Я., Горбань А.И., Добровольский В.В., Лукин А.И. и др. -Л.: Судостроение, 1989. - 343 с.
2. Шостак В.П. та інш. Проектування пропульсивної установки суден з прямою передачею потужності на гвинт. Навчальний посібник, Миколаїв УДМТУ, -2003.

3. Эксплуатация судовых котельных установок /Федоренко В.М.,
4. Залетов В.М., Руденко В.И., Беляев И.Г. — М.: Транспорт, 1991. -272 с..

Інформаційні ресурси

1. Нормативна база: Стандарт вищої освіти за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт».
2. Сайт університету: <http://duit.edu.ua>.
3. Бібліотека он-лайн" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://readbookz.com>
4. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського [Електронний ресурс]. – Режим доступа: : <http://www.nbuv.gov.ua/>
5. Студентська електронна бібліотека "Читалка"[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chitalka.info>